

面向仪器强国建设的 仪器科技创新领军人才培养模式与实践

成果完成单位：仪器学院

完成人：谭久彬、邹丽敏、王伟波、陆振刚、胡鹏程、
付海金、马惠萍、刘永猛、崔俊宁、刘辰光、
杨宏兴、王赫岩、孙传智、刘炳国、杨彬

成果来源：国家级教学成果奖 • 一等奖

获奖时间：2023年7月

瞄准仪器强国建设科技创新领军人才培养需求，率先提出了“情怀引领、交叉创新、团队协作、实战锤炼”的仪器科技创新领军人才培养理念，构建了以“仪器报国、敢当大任”为情怀引领，以“综合素质过硬、创新能力突出”为培养目标，以“学科交叉、技术融合”为改革途径，以“挑战尖端、实战实效”为培养导向，以“大师+集体指导+协同育人”为创新模式的创新领军人才培养体系。该成果历经近20年创新迭代与实践，不断推动仪器科技创新领军人才培养能力显著提升，助力打造了一支能不断攻克仪器领域国家重大科技难题与国际前沿重大科技问题的国家战略科技力量。

HIT



一、研究目的及意义

从世界科技发展与工业发展的历史规律中发现，凡是科技强国、制造强国和质量强国，都是仪器强国；建成仪器强国是建成科技强国、制造强国和质量强国的必备基础与前提条件。因为历史原因，我国仪器科技力量还不强，难以支撑仪器强国战略，迫切需要培养一大批仪器科技创新领军人才。

门捷列夫说：“科学是从测量开始的”，“没有测量就没有科学，至少是没有精确的科学、真正的科学”。测量是科学的基础，仪器是测量的工具与载体，是实现科学发现与基础研究突破的手段。

仪器科学与技术学科是引领仪器科学研究、高端装备制造等领域发展的火车头；其发展水平是决定装备制造业和整个工业、国防、环境和精准医疗等发展水平的关键因素；仪器科技水平和仪器制造能力是支撑各行各业高质量发展的基石。

与世界一流水平相比，我国高校在培养仪器科学与技术学科研究生的创新意识、原始创新能力、实践能力和国际视野等方面还存在一定差距。“钱学森之问”带给我们的思考之一是，如何推动我国仪器学科的研究生教育从偏重知识型、技能型人才培养模式向创新型人才培养模式转变，以及如何发挥研究型大学具有的师资队伍优势和科学研究优势，走出一条适于中国国情、具有中国特色的仪器科技创新领军人才培养之路。

面对新形势新要求，我们迫切需要把打造国家战略科技力量、提升国家创新体系整体效能作为重要责任和使命，提升硬实力、展现新作为，大力培养造就一大批国家创新发展急需的仪器科技创新领军人才，走好人才自主培养之路。在研究生培养中以“四个面向”为指引，用好学科交叉融合这个“催化剂”，激发协同创新这个“动力源”，改进评价体系这个“指挥棒”，勇于探索、突破瓶颈，通过调整学科结构、搭建合作平台、创新育人载体、建立协同机制，主动适应新发展格局，不断提升人才培养对实现国家仪器强国战略的契合度、贡献度。

面向国家重大需求与仪器强国建设，结合中国国情，合理借鉴国际先进理念与经验，力争在仪器科技创新领军人才培养理念、模式与实践等方面的探索中走出一条切实可行的新路。

二、成果简介

哈工大仪器学科作为第一批国家重点一级学科，是全国高校仪器学科领域中最早建系、最早成体系培养高端精密仪器人才的学科专业，有责任担负起培养仪器强国建设科技创新领军人才的历史重任。

学科瞄准仪器强国建设科技创新领军人才培养需求，率先提出了“**情怀引领、交叉创新、团队协同、实战锤炼**”的仪器科技创新领军人才培养理念，依托国际一流学科、国家重大项目与平台，坚持“**大师+大团队、大平台、大项目、大成果**”特色发展之路，经过近20年的探索、改革

与实践，构建了以“**仪器报国、敢当大任**”为**情怀引领**，以“**综合素质过硬、创新能力突出**”为**培养目标**，以“**学科交叉、技术融合**”为**改革途径**，以“**挑战尖端、实战实效**”为**培养导向**，以“**大师+集体指导、协同育人**”为**创新模式**的仪器科技创新领军人才培养体系（图1）。

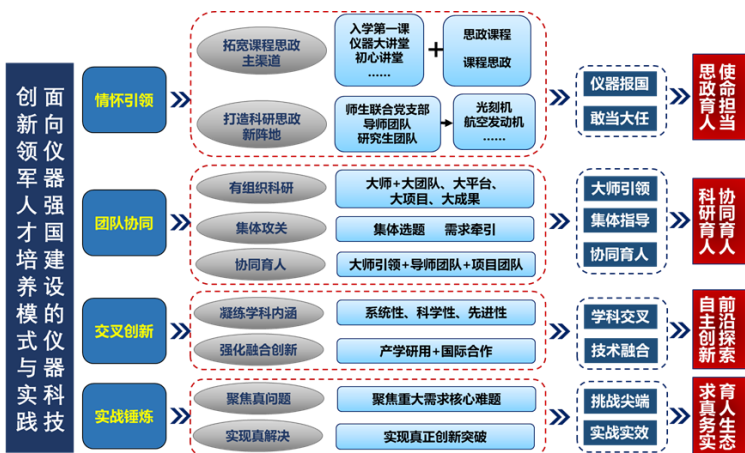


图1 仪器科技创新领军人才培养体系

成果历经近20年创新迭代与实践，在培养仪器科技创新领军人才能力方面显著提升，成为一支能不断攻克仪器领域国家重大科技难题与国际前沿重大科技问题的国家战略科技力量，解决了超精密光刻机、高性能航空发动机等50余个重大型号高端装备研制生产中的超精密测量难题。2003年以来，研究生作为重要贡献者的科研成果获**国家技术发明奖/科技进步奖一、二等奖 5项**（含**国家发明一等奖1项**），省部级/一级学会科技发明奖/进步奖一等奖6项、二等奖4项；研究生发表Nature子刊论文6篇，3项成果入选中国高校十大科技进展等。

改革影响力显著：面向仪器科技创新领军人才培养需求，仪器强国的理念依托工程院战略咨询等项目形成广泛影响力，研究生培养改革成果被清华、北航、天大、东南等多所高校仪器学科借鉴并采纳，获光明日报等多家媒体报道；成果获省部级/一级学会教学成果**特等奖2项、一等奖1项**（图2），哈工大仪器学科在软科世界一流学科排名中连续6年位列**世界第一**。



图2 教育教学改革成果

主要解决的教学问题：

- (1) 研究生献身仪器强国建设的使命感和责任担当意识不强，难以满足仪器强国建设对“德才兼备”的科技创新领军人才的需求。
- (2) 课程体系交叉融合深度不够、研究生学术基础面不宽；导师个人或小团队指导方式下，研究生在提炼关键科学问题、选择创新技术路线等方面的能力不足，难以得到交叉创新、团队协作能力的训练。
- (3) 受“唯论文”等评价方式影响，研究生急于求成，难以形成“货真价实”解决关键技术难题的学术生态。

三、实施方案与成果

1. 开拓思政育人新渠道，厚植“仪器报国、敢当大任”情怀

将“课程思政”与“科研思政”贯穿人才培养全过程，引导研究生树立献身仪器强国建设使命担当意识（图3）。



图3 开拓思政育人新渠道

构建“院士+高层次人才”的思政育人团队。谭久彬院士多年坚持为学生讲“入学第一课”，在研究生中形成了品牌效应；院士和学科高层次人才领衔“仪器大讲堂”、“八百壮士精神宣讲”和“初心讲堂”等系列品牌活动，厚植研究生“仪器报国、敢当大任”的情怀，拓宽课程思政育人主渠道。

师生共建联合党支部，在重大项目攻关中打造科研思政新阵地。将教师队伍的科研理念与作风传承给研究生，师生共建联合党支部“以教带学”，带领研究生在攻克超精密光刻机、高性能航空发动机等一批国之重器测量难题的过程中，培养仪器报国的历史责任感。2020年2月，面对突如其来的新冠肺炎疫情，谭久彬院士临危受命牵头组建教师、研究生联合开发团队，日夜突击攻关，快速高效完成研制任务，研制的检测设备达到行业领先水平，获黑龙江省“感动龙江年度人物集体奖”。身边人、身边事，是最令人信服的榜样，也是最真实生动的示范与引领。

在师生共建联合党支部中，既有全国先进工作者，也有全国五一劳动奖章获得者，导师团队多次荣获“黑龙江省高校百优党支部”、“黑龙江省青年五四奖章”、“省课程思政示范团队”、“哈尔滨市创新争先集体奖”等荣誉。

2. 重构课程体系和知识谱系，强化“大师引领、有组织科研”，创建“交叉创新、团队协同”育人新举措（图4）

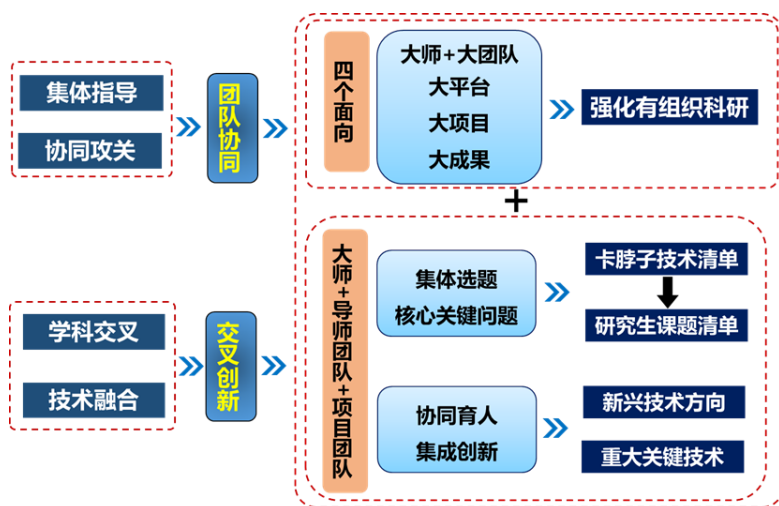


图4 “交叉创新、团队协同”育人新举措

（1）构建“学科交叉、技术融合”的新课程体系和知识谱系

围绕国家重大科学仪器体系和新一代国家测量体系构建对人才知识结构的新需求，依据“系统性、科学性、先进性”的原则，全面、系统梳理仪器学科知识体系，重新凝练学科内涵，面向新技术革命和国际仪器科技前沿，与人工智能、量子技术、新材料、生命科学等新兴学科及方向深度交叉；与英国皇家工程院院士、牛津大学Tony-Wilson教授，德国联邦物理实验室首席专家Abou-Zeid教授等国际导师全方位合作，在新的深度和广度上构建“学科交叉、技术融合”的仪器学科课程体系和知识谱系，建成43门学科交叉课程和与国际一流学者共建课程，拓宽研究生学术基础和学科视野（图5）。

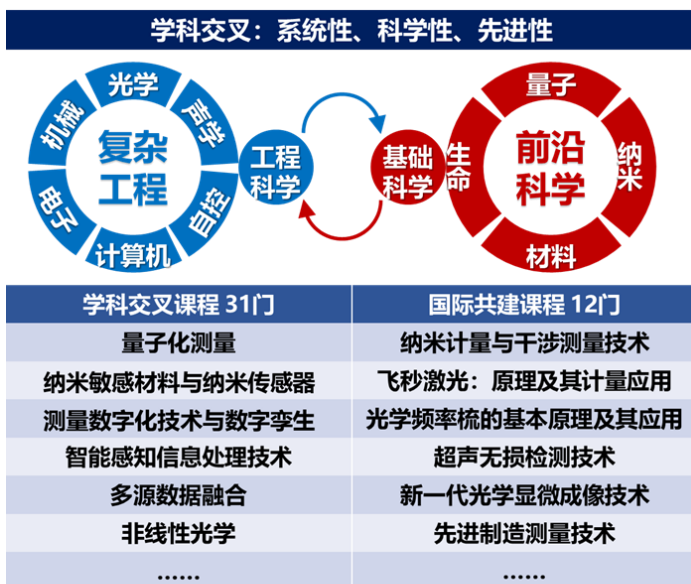


图5 构建“学科交叉、技术融合”的仪器学科课程体系

(2) 构建“大师+导师团队+项目攻关团队”集体选题机制和协同育人机制

研究生学位论文选题，是决定论文应用价值、创新内容和论文质量的重要因素。仪器学科研究生学位论文选题必须经过“导师选题论证+学生开题答辩”两个环节双重把关，由多学科交叉的“院士+导师团队+项目攻关团队”构成选题论证委员会，对选题进行集体讨论、充分论证，最后确定课题、预期创新点和技术路线等（图6）。集体选题机制既可以确保研究生课题始终聚焦仪器领域最有价值的核心关键问题，将国家重大卡脖子技术清单转化为研究生课题清单（图7），又可以确保研究生在预期创新点凝练和新技术路线选择上少走弯路。



图6 “大师+导师团队+项目攻关团队”协同育人机制

国家重大需求中的代表性卡脖子技术及相关研究生课题清单				
卡脖子技术清单	研究生课题清单	研究生姓名	毕业年份	突破成果
光刻机工件台和掩模台技术	光刻机六自由度工件台控制系统设计	丛志浩	2011	光刻机工件台和掩模台
	光刻机工件台与掩模台同步控制算法研究及实现	郝中洋	2012	
	双工件台密快速交接系统研究	袁勇	2014	
	闭环迭代学习策略及其在光刻机精密运动平台中的应用	万勇利	2016	
光刻机工件台和掩模台技术	光刻机工件台和掩模台	吕研蕊	2020	...
光刻机高动态超精密激光干涉测量技术	100米激光干涉仪信号处理技术研究	杨国新	2010	超精密双频激光干涉仪
	变频固定式热频激光干涉水冷却技术研究	冯杰	2015	
	微米分辨率热频激光干涉仪相位细分技术研究	蔡海蛟	2015	
	基于共测量轨迹的快速外差激光干涉仪动态校准关键技术	毛帅	2017	
非共光路外差激光干涉周期非线性误差抑制与测试方法	王越	2021
光刻装备超精密微振技术	低频光学隔振台主动负刚度隔振器研制	赵俊超	2017	超大型气浮复合隔振平台
	基于鲁棒控制理论的主动隔振方法研究	张明	2019	
	主动隔振平台模态解耦控制方法与验证	李峰	2020	
	面向大型隔振的永磁负刚度技术研究	张聪宇	2021	
分体式隔振器刚度调节方法与实验验证	于旭阳	2021
航空发动机转子装配方法和配技术	基于轴向预载的转子装配方法研究	李泽林	2018	航空发动机测量装配一体机
	航空发动机转子同轴度和不平衡量双目标优化装配方法	刘泽伟	2019	
	面向质量特性优化的航空发动机转子堆叠装配方法	胡明	2019	
	基于深度学习的航空发动机转子智能装配方法研究	李成烟	2020	
航空发动机多盘片分离转子不平衡量优化装配方法研究	肖平欢	2021
民用飞机智能光测与微纳制造技术	金属网栅透射导电膜导电性能的研究	张云花	2017	航空光电器件电磁屏蔽光窗
	基于石墨烯层叠结构的透明电磁屏蔽方法研究	马振敏	2018	
	基于超薄掺杂碳膜的透明电磁屏蔽方法研究	王赫岩	2019	
	基于随机分布圆环的高透光电磁屏蔽方法研究	卢溪	2019	
随机分布圆环网栅的光学与电磁屏蔽特性研究	董旋	2020
超高分辨力共焦显微技术	基于光束扫描的共焦显微三维测量技术研究	唐建波	2011	超分辨共焦显微镜
	差动共焦显微成像理论及畸变校正方法研究	王睿	2013	
	基于中介层散射原理的共焦显微测量技术及理论研究	刘恩光	2016	
	基于误差反向传播原理的结构探测超分辨显微技术研究	倪赫	2019	
基于深度学习的图像扫描显微像差自适应校正方法研究	李爽君	2021

图7 代表性卡脖子技术及相关研究生课题

近7年，学科硕博论文90%以上均瞄准国家重大需求和国际重大科技前沿；硕博论文完成后，创新研究成果都得到实践检验，大部分都应用到重大需求中，解决了重大需求中的测量难题；还有一部分硕博论文在解决国际前沿仪器科学领域重要学术问题中发挥了重要作用。

依托国家重大基础设施、国家重大仪器技术创新引智基地（图8）为代表的科研育人“大平台”和以国家02光刻机专项为代表的“大项目”（图9），发挥不同学科知识结构和不同技术方向的互补优势，瞄准国家重大需求和国际重大科技前沿，开辟10个新技术方向，导师与研究生共同组成光刻机测量、航空发动机装配测试、超分辨显微成像等15个重大仪器技术攻关团队，提升研究生多学科交叉、多专业技术融合和深度集成创新能力，破除导师个人指导和研究生单兵作战存在的局限性。



图8 支撑研究生培养的重大仪器技术引智基地

大平台：以4个国家重大科学基础设施为代表的科研育人大平台			
项目类型和领域	累计经费/万	研究生突破核心技术	培养研究生数/人
光刻机工件台和掩模台设计与研制	30163	无摩擦驱动技术、运动台多自由控制技术、多物理场耦合仿真、...	173
超分辨光学显微仪器	15494	干涉共焦传感、中阶层散射共焦、谐波显微成像、光谱共焦传感、...	113
高动态超精密激光干涉测量仪器	10307	高精度激光陀螺、多轴组设计、干涉信号动态解调、...	126
航空发动机转子/静子测量与装配	8371	高精度回传基准技术、多级转子堆叠技术、多偏置误差分离技术、...	76
超精密气浮复合隔振平台	7819	主动负刚度技术、平台模态解耦控制技术、动态刚度调整技术、...	59
...

图9 支撑研究生培养的重大科研“大平台”和“大项目”

(3) 树立“挑战尖端、实战实效”新导向，创建新的研究生培养评价机制与学术生态

在项目实践期，学科在学位论文创新性成果认定、研究生评奖评优、预留师资选拔等过程中，均以“挑战尖端、实战实效”为导向（图10）。研究生在“学科交叉、科教融合、产教融合、创教融合、国际合作”五维一体的高水平创新实践平台上和重大科研项目攻关中获得实战训练，瞄准真正有价值的核心难题、实现真正创新突破、真正解决卡脖子难题，形成货真价实解决关键难题的学术生态，在实践中破除“唯论文”弊端。

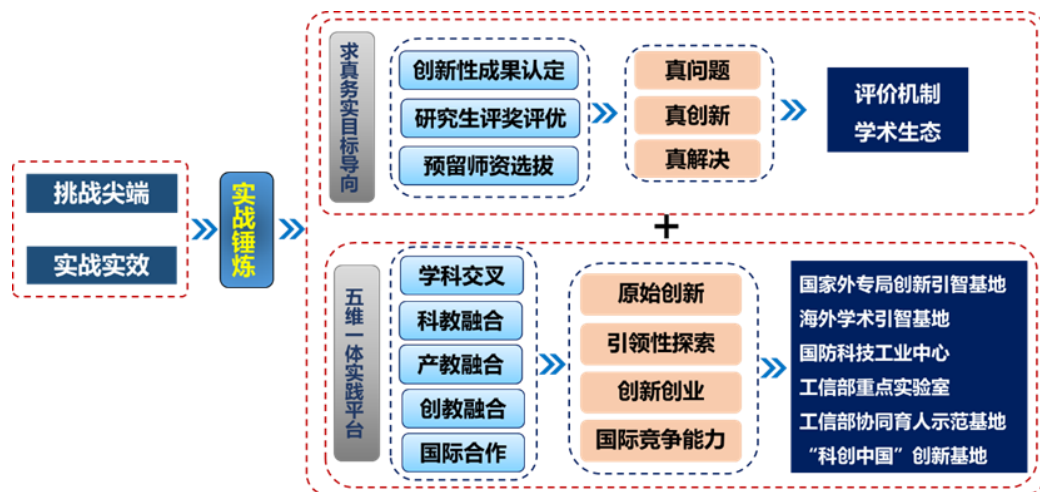


图10 “挑战尖端、实战实效”的研究生培养导向

近年来这方面代表性研究生有（图11）：

2017年毕业的孙传智博士，围绕我国航空发动机多级转子装配合格率低的“卡脖子”问题，成功研制出系列航空发动机转子装配测量仪器，装配合格率达到96%，达到国际先进水平，受到央视新闻大国重器栏目报道。

2019年毕业的王赫岩博士，围绕我国高端航空装备宽频雷达隐身失效的“卡脖子”难题，成功研制出具有我国自主知识产权的超薄金属仪器光窗构件，打破了国外技术封锁，获仪器仪表学会科技发明奖一等奖。

2022年毕业的赵唯淞博士发明基于稀疏解卷积的数学荧光超分辨率方法，以第一作者身份在国际顶级杂志《Nature Biotechnology》（IF：68.2）发表论文，实现活细胞领域分辨率最高、速度最快的成像，解决了诺贝尔奖成果未能解决的国际难题，受到科技日报等媒体报道。获评2021中国光学领域十大社会影响力事件。

在读博士生石剑，围绕我国角度基准缺失的“卡脖子”问题，研制成功国际首台三轴计量级激光自准直测量仪，三轴仪器分辨率均达到0.001角秒，与国际最高水平（二轴自准直仪）分辨力一致，受到新华社、学习强国等媒体报道。

通过近20年的探索与实践，哈工大仪器学科已经形成以“挑战尖端、实战实效”为培养导向的学术新生态。

“挑战尖端、实战实效”育英才

 航空发动机装配测试 孙传智 2017年博士毕业	 卫星装备超精密测角定位 石剑 在读博士生
 航空特种光窗电磁屏蔽方法与构件 王赫岩 2019年博士毕业	 光刻机嵌入式激光干涉仪 董伟嗣 在读博士生
 超分辨率显微成像 赵唯淞 2022年博士毕业	 飞机机体核心零部件应力场测量 李佳鑫 在读博士生

创建新的研究生培养评价机制与学术生态

图11 “挑战尖端、实战实效”典型实例

四、成果的创新点

(1) 提出了“情怀引领、交叉创新、团队协同、实战锤炼”的仪器科技创新领军人才培养理念；构建了以“仪器报国、敢当大任”为情怀引领，以“综合素质过硬、创新能力突出”为培养目标，以“学科交叉、技术融合”为改革途径，以“挑战尖端、实战实效”为培养导向，以“大师+集体指导、协同育人”为创新模式的仪器科技创新领军人才培养体系。

(2) 提出以“仪器报国、敢当大任”为情怀引领的仪器科技创新领军人才励志教育方式。“课程思政”与“科研思政”贯穿人才培养全过程，拓宽课程思政主渠道，打造科研思政新阵地，实行研究生培养全过程的励志教育，引导研究生树立献身仪器强国建设的使命担当意识。

(3) 构建“学科交叉、技术融合”的新课程体系，提出以“大师+集体指导、协同育人”为创新模式的仪器科技创新领军人才培养新举措。通过学科交叉及国际合作，重构仪器学科课程体系和知识谱系，拓宽研究生学术基础和学科视野；通过“大师+导师团队+项目攻关团队”集体选题，确保研究生学位论文选题始终聚焦最有价值的核心关键问题，将国家重大卡脖子技术清单转化为研究生课题清单；通过“交叉创新、团队协同”，破除导师个人指导和学生单兵作战存在的局限性，提升研究生多学科交叉、多专业技术融合和深度集成创新能力。

(4) 构建以“挑战尖端、实战实效”为培养导向的研究生培养评价机制与学术生态。在研究生各类评价中均以“挑战尖端、实战实效”为导向，使研究生瞄准真正有价值的核心难题、实现真正的创新突破、真正解决卡脖子难题、真正完成有实效的推广应用，在实践中破除“唯论文”等弊端，形成以“挑战尖端、实战实效”为培养导向的研究生培养评价机制，形成“扎扎实实做学问，实实在在解决问题”的研究生培养新生态。

五、成果推广应用效果

以仪器强国建设为引领的科技创新领军人才培养目标得到广泛认可。结合仪器科技创新领军人才需求，依托中国工程院战略咨询研究项目等，提出新一代国家测量体系建设和仪器产业发展战略建议；通过《百名院士谈建设科技强国》和国内外高端论坛宣传，仪器强国理念得到广泛认可（图12），推动国家仪器重大专项实施和国家《计量发展规划》（2021-2035）出台，极大推动了仪器科技创新领军人才培养进程。



图12 国内外百余家媒体报道哈工大“挑战尖端，仪器报国”理念

1. 打造了大师引领的导师团队、项目攻关团队和系列创新平台，培养了一大批仪器科技创新领军人才

获评国防科技创新团队、省头雁团队、省“百优”党支部、省研究生优秀导师团队、省课程思政示范团队，2人获省教学名师奖。建成工信部协同育人示范基地、工信部重点实验室、省重点实验室、航天科技联合实验室等10个创新平台和基地。

近十年培养研究生1380余人，向航天国防领域输送520余人，其中160余人担任型号总师、副总师和主任设计师等；27人入选国家级高层次/青年人才。共和国将军胡文萃、王元钦和仪器上市公司创始人康为民等一大批科技领军人才都在仪器相关领域做出突出贡献。

2. 在校研究生高水平创新成果不断涌现

研究生深度参与的科研项目突破了超精密光刻机、航空发动机等一大批国之重器测量核心技术，获国家技术发明奖/国家科技进步奖一、二等奖5项（含国家发明一等奖1项）、省部级/一级学会科技奖一等奖6项和二等奖4项；发表Nature子刊论文6篇，被光明日报、科技日报等80多家媒体报道；3项成果入选高校十大科技进展等；获得全国优博/提名7人；参与制定国际标准10项；获国家级学科竞赛特等奖4项、一等奖29项（图13、图14）。

大成果：研究生作为重要贡献者获国家级科技奖5项、省部级科技奖10项

序号	科技奖励名称	获奖者中研究生(排序/总人数)
1	2006年国家技术发明一等奖	薛梓(5/6)、姚绍明(6/6)
2	2013年国家技术发明二等奖	崔俊宁(3/6)、黄景志(6/6)
3	2016年国家技术发明二等奖	闻荣伟(6/6)
4	2020年国家技术发明二等奖	刘辰光(2/6)、王宇航(4/6)
5	2020年国家科技进步二等奖	刘炳国(4/10)
6	2018中国计量测试学会科学技术进步一等奖	刘辰光(2/10)、李梦周(4/10)、王宇航(6/10)
7	2020中国计量测试学会科学技术进步一等奖	邢旭(5/6)、常笛(6/6)
8	2021中国仪器仪表学会科学技术发明一等奖	张怡蕾(3/6)、曹志博(4/6)、夏超(5/6)、刘云菲(6/6)
9	2022中国仪器仪表学会科学技术发明一等奖	李佳鑫(4/6)
...

图13 研究生作为重要贡献者获得的科技奖励

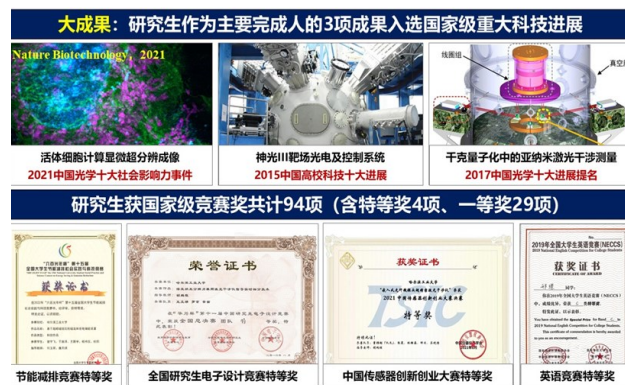


图14 研究生重大科研进展与竞赛获奖

3. 学科国际学术声誉和影响力显著提升

依托国家重大仪器技术创新引智基地和以牛津大学、德国PTB为核心的海外学术基地，共建研究生课程和创新平台，在主办的中国工程院高端测量仪器和显微仪器2个系列国际高端论坛中设立科教融合、产教融合和仪器科技创新领军人才培养圆桌会议，学科国际学术声誉和影响力显著提升。毕业生刘健被推选为ISO标准制定负责人，实现我国在该领域标准制定的历史性突破。毕业生李磊入选“麻省理工科技评论”全球35岁以下华人科技创新35人榜。哈工大仪器学科在软科世界一流学科排名中连续6年位列世界第一（图15）。



图15 仪器学科国际学术声誉和影响力显著提升

4. 仪器科技创新领军人才培养新模式在全国示范推广应用

成果完成人在国际国内仪器领域系列高端论坛、全国仪器学科院长论坛等做大会特邀报告60余次，面向全国80余所高校进行经验推广，累计直接受益15000余人次（图16）；成果被国内仪器学科强校清华、北航、天大、东南大学、吉林大学等借鉴，获英国牛津大学Tony Wilson院士和德国PTB首席科学家Abou-Zeid教授等国际一流专家的肯定（图17）。



图16 仪器学科建设经验与人才培养模式在全国交流和推广

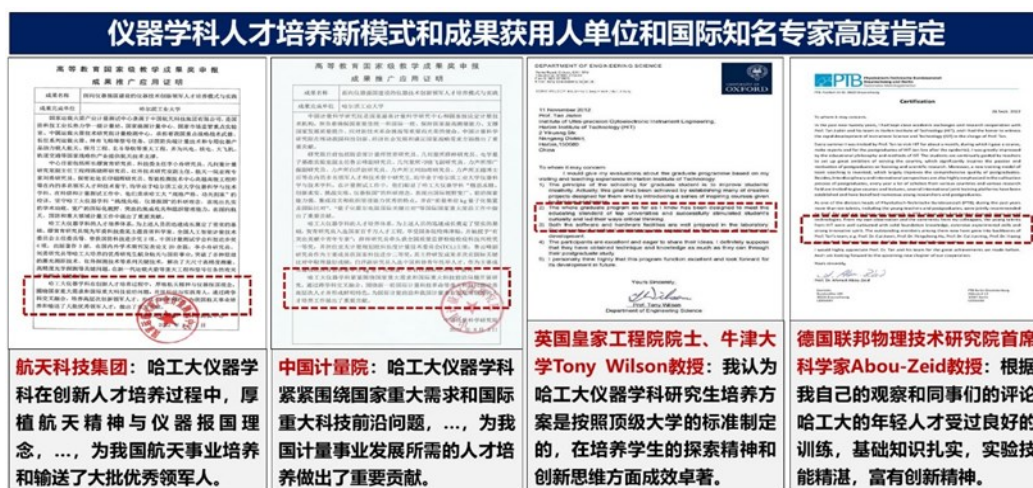


图17 人才培养新模式和成果获用人单位和国际知名专家高度肯定

2022年10月，以庄松林院士、姜会林院士和王耀南院士分别为主任和副主任，以多所大学的仪器学院院长为成员的鉴定委员会给出的鉴定意见是：该成果意义重大，特色鲜明，实施效果显著，受益面广，在理念、举措和实践方面均有重要突破，并在国内多所高校推广应用。鉴定委员会认为，该成果处于国内领先、国际一流水平，具有重要示范引领作用和推广价值。